



SBP 3.5, 7, 10kHz, *Chirp* (0.5-2.0kHz), *Chirp* (2-12kHz), *Chirp* (10-18 kHz), *Boomer* (0.5-2 kHz) e *Sparker* (0.1-1.0kHz): quando decidir por uma ou por outra fonte acústica?

Luiz Antonio Pereira de Souza – IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The use of seismic methods in shallow water environment investigation is a world-wide consolidated procedure. Electric, electromagnetic, GPR and potential methods, also contribute in the inquiry of these environments however, they don't offer final products, in quantitative point of view, that could be directly applied for engineering projects. The choice of the right acoustic source for the optimum final product is still a guideline that lacks of quarrel, since wrong procedures are still detected in the technical community, with regards to the decision for one or another acoustics source, amongst the available ones. Thus, the purpose of this article is to contribute for the discussion on acoustic sources performance when applied for shallow water investigation. The conclusion is that the best answer could come if simultaneous multi-frequencial acoustics systems are used. Multi seismic sources operating simultaneously will guarantee resolution and penetration, making possible to answer many questions on engineering projects like dams, ports, pipelines, bridges and tunnels, and also inquires related to basic geology, or studies on silting process on rivers and reservoirs.

Introdução e Objetivos

A utilização de métodos sísmicos na investigação de ambientes submersos rasos é um procedimento mundialmente consolidado (Ayres Neto, 2000; Bianco, 2004; Bianco *et al* 2003; Dias e Silva, 2003; Dias, 2000; Dias *et al*, 1998; Souza et al, 2007; Souza et al, 2006; Souza, 1988; Souza et al, 2004; Souza et al, 1998; Jones, 1999, Souza, 2006). GPR, métodos elétricos, eletromagnéticos e métodos potenciais, também contribuem na investigação destes ambientes, contudo, não oferecem produtos finais de aplicação direta em projetos de engenharia, sob o ponto de vista quantitativo.

Embora consolidados, a escolha da fonte acústica com o maior potencial de oferecer o melhor produto ao interesse de um determinado projeto, ainda é uma pauta que carece de discussão no meio técnico. Corroborando esta assertiva o fato de que ainda se observa, na comunidade técnica nacional, procedimentos equivocados com relação à opção por uma ou de outra fonte acústica, dentre as várias opções existentes. Assim, o objetivo

deste artigo é contribuir para a discussão do potencial das fontes acústicas na investigação de ambientes submersos rasos, ante suas principais e determinantes características.

Por ambientes submersos rasos, entendem-se, rios, lagos, reservatórios e áreas costeiras (plataforma continental interna), ambientes onde a espessura da coluna d'água raramente ultrapassa 100m. Neste contexto, esta discussão envolve basicamente a análise do potencial dos métodos sísmicos em oferecer o suporte devido e desejado a projetos de engenharia (barragens, dutos, portos, pontes, túneis), estudos de hidrovias e de assoreamento de reservatórios, temas altamente relevantes nos dias atuais, consequência do inexorável avanço da sociedade no rumo da ocupação e exploração dos ambientes submersos rasos.

Métodos sísmicos

Se comparada com a clássica sísmica de petróleo, a investigação sísmica de áreas submersas rasas envolve equipamentos geofísicos e meios flutuantes de menor porte (Fig. 1). Tal fato decorre da própria natureza e dimensões das áreas investigadas, comumente com poucos quilômetros quadrados de área e, com coluna d'água de espessura da ordem de poucas dezenas de metros, não raramente, inferior a 20m.



Fig. 1: Embarcação de pequeno porte executando levantamento geofísico em lago urbano da cidade de São Paulo.

As investigações destes ambientes têm como foco principal o fornecimento de suporte técnico a projetos de engenharia e/ou de geologia básica e podem ser subdivididas em dois grandes grupos: investigação de superfície e de subsuperfície (Souza, 2006, 2008).

O primeiro grupo diz respeito à caracterização geológica de superfícies submersas e envolve o mapeamento de afloramentos rochosos, feições sedimentares ou estruturais e, até mesmo, a localização de embarcações naufragadas, no caso de operações de busca e salvamento ou com finalidades arqueológicas. A delimitação do traçado de dutovias (Marrano *et al.*, 2004),

de hidrovias e de áreas favoráveis para instalação de bota-foras ou áreas de descarte (Torresan et al. 1995; Du Four & Lanckera, 2008; Kayabali, K. 1996; Tauber, F. 2009) são exemplos de projetos nos quais a prioridade de investigação é a caracterização de superfícies submersas.

Nestes projetos, comumente não existe a necessidade da investigação de subsuperfície, e assim sendo, são utilizadas fontes acústicas que emitem preferencialmente sinais com espectros de altas frequências, comumente a partir de 30kHz. Ecobatimetria (simples, dupla ou multifeixe) e a sonografia de varredura lateral (Blondel 2009) constituem os principais métodos acústicos empregados.

No caso da ecobatimetria, empregam-se normalmente sistemas que lidam com frequências entre 50 e 200 kHz, sendo as mais altas aquelas que propiciam melhor resolução quando se trata da investigação de ambientes muito rasos. No caso do sonar de varredura lateral, os sistemas mais comuns utilizam frequências entre 100 e 1000kHz, sendo as mais altas aquelas que proporcionam uma melhor resolução, com prejuízo do alcance lateral. As Fig. 2 ilustra um exemplo no qual se observa um par de imagens obtidas em um mesmo local com sonar de varredura lateral de dupla frequência. Delimitam-se com precisão na imagem superior, obtida com a frequência de 500 kHz, os contatos texturais entre as áreas com ocorrência de estruturas sedimentares e as áreas varridas pela ação de correntes locais. O mesmo não se observa na imagem inferior obtida com a frequência de 100kHz. Estas imagens mostram produtos distintos de cada uma das frequências empregadas ilustrando a importância de se escolher a fonte acústica adequada, em função da prioridade assumida: resolução ou alcance lateral. Sinais de 100kHz permitem mapear algumas centenas de metros ao passo que sinais de 500kHz não mapeiam mais que 200 ou 300 m da superfície submersa. Tempo e verba disponíveis são os parâmetros adicionais que irão também contribuir para decisão sobre a prioridade do levantamento.

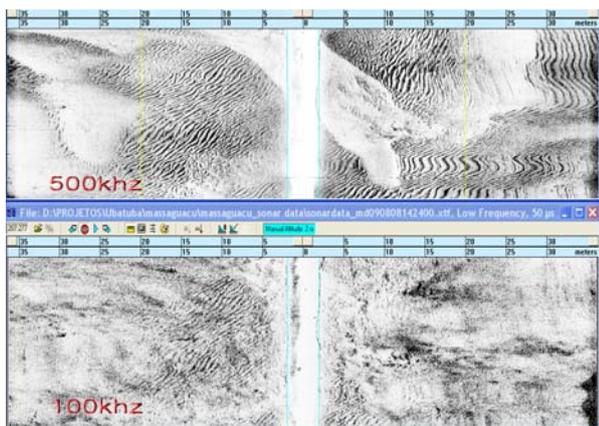


Fig. 2. Contrastes texturais em imagens de sonar de varredura lateral (500 e 100 kHz) relacionados a presença de *sandwaves*. Imagens obtidas no litoral norte do Estado de São Paulo. (Rogacheski, 2011).

Na Fig. 3, por outro lado, as imagens obtidas de ambas as frequências apresentam-se bastante semelhantes. Tal fato decorre do alto contraste entre a superfície rochosa e

a cobertura sedimentar adjacente. A partir destes dois exemplos, pode-se concluir sobre a importância do uso de altas frequências, no sonar de varredura lateral, quando o objetivo é detectar detalhes de pequenas dimensões (submétricos) na superfície de fundo, que não é o caso de afloramentos rochosos.

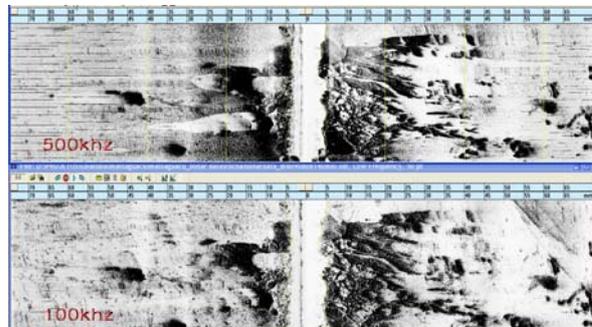


Fig. 3. Contrastes texturais em imagens de sonar de varredura lateral (500 e 100 kHz) relacionados a presença de afloramentos rochosos. Imagens obtidas no litoral norte do Estado de São Paulo (Rogacheski, 2011).

O segundo grupo reúne um conjunto de métodos sísmicos que tem por objetivo a investigação de subsuperfície fornecendo suporte a projetos em que informações sobre a espessura da coluna sedimentar ou a profundidade do embasamento rochoso são dados fundamentais.

A determinação da espessura das camadas sedimentares visando cálculos de cubagem de material para dragagem e a determinação da profundidade do embasamento rochoso, em projetos de pontes, túneis, dutos, portos e barragens, são alguns exemplos de estudos que exigem informações desta natureza. Nestes casos, dados que permitem apenas a classificação ou caracterização geológica da superfície de fundo não atendem às necessidades do projeto.

No contexto destes objetivos se destacam os métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas do tipo *boomers*, *sparkers*, 3,5kHz e *chirps*, entre outras, que emitem sinais acústicos com espectros de frequências inferiores a 30kHz (efetivamente, inferiores a 15kHz).

Fontes acústicas na perfilagem sísmica

Mesmo considerando o tradicional, excelente e consagrado desempenho dos métodos sísmicos na investigação de ambientes submersos, a opção pela utilização de uma ou outra fonte acústica dentre as várias possibilidades existentes, não constitui um procedimento trivial. Diferentes métodos sísmicos utilizam diferentes fontes acústicas, que por sua vez possuem características específicas e oferecem produtos finais distintos. Não são raros na literatura técnica exemplos de utilização de fontes acústicas em determinados projetos priorizando-se a disponibilidade da fonte, ao invés da sua real aplicabilidade para os objetivos do projeto. Destes casos decorrem prejuízos financeiros e técnicos aos empreendimentos, além de um prejuízo maior que é o conceitual, ao expor, negativamente, um determinado método geofísico, ao empregá-lo com objetivos para os quais não foi configurado.

As fontes acústicas possuem propriedades, tais como espectro de frequências e energia (potência), que as credenciam para serem aplicadas a objetivos distintos.

O gráfico da Fig. 4 exemplifica limites de penetração de uma fonte acústica do tipo 3,5kHz. Neste exemplo observa-se a drástica diminuição do desempenho desta fonte com o aumento da granulometria dos componentes da coluna sedimentar, o que, em princípio, descredencia esta fonte acústica para a investigação de depósitos aluvionares, quando existe a expectativa de ocorrência de depósitos de areias grossas e cascalhos com espessura superior a 5-6m.

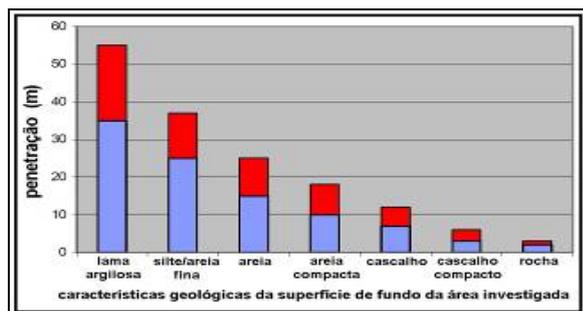


Fig. 4: Desempenho da fonte acústica modelo *GeoPulse Pinger* 3,5kHz, da *Geoacoustics*: penetração esperada (em azul) e a variabilidade possível (em vermelho) para a relação penetração do sinal acústico x tipo de fundo. Souza, 2006 - Modificado de: <http://www.geoacoustics.com>.

Por outro lado, fontes acústicas com estas características têm grande aplicação na investigação de ambientes submersos cobertos por sedimentos finos, tendo em vista o alto poder de resolução, o que permite inclusive a identificação da presença de interferências, tais como dutos enterrados e navios naufragados total ou parcialmente cobertos por sedimentos finos.

A Fig. 5 mostra registros obtidos com uso simultâneo de três fontes acústicas, onde se observa o melhor desempenho da fonte do tipo *chirp* (2-8kHz) no quesito resolução, já que no perfil obtido com esta fonte (B) identifica-se nitidamente dutos enterrados a pouca profundidade. O mesmo não ocorre com o perfil obtido com a fonte do tipo *boomer* (A), que mostra melhor desempenho na identificação da estratigrafia local (penetração), que na identificação dos dutos enterrados.

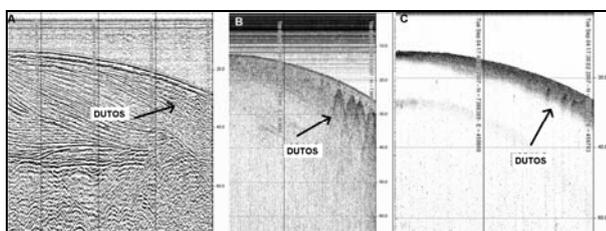


Fig. 5: Registros sísmicos obtidos no canal de São Sebastião (SP) com o uso simultâneo de três fontes distintas (A=*boomer* 0.5-2kHz, B=*chirp* 2-8kHz, C=*pinger* 24kHz). (Souza *et al.*, 2008).

A Fig. 6 ilustra um registro obtido com o emprego de fonte acústica do tipo *chirp*, mostrando a importância do uso desta fonte na identificação da espessura das camadas superficiais de sedimentos finos.

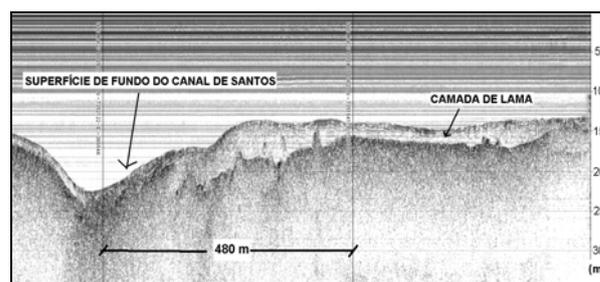


Fig. 6: Registro obtido no canal de Santos (SP) com emprego de perfilador sísmico de fonte acústica do tipo *chirp* (2-8kHz). (Souza, 2006, 2008).

De uma maneira geral pode-se afirmar que fontes acústicas de frequências superiores a 2kHz (*chirp* de baixa potência, SBP's de 3.5, 7, 10, 15 e 24 kHz, entre outras) oferecem excelente resolução mas com prejuízo da penetração.

Ao contrário, fontes acústicas que emitem sinais de frequências inferiores a 2kHz oferecem melhor desempenho no item penetração e, portanto, constituem-se em importantes ferramentas para investigação de depósitos sedimentares compostos de sedimentos arenosos (areias e cascalhos) comuns em aluviões de rios, que comumente apresentam espessuras da ordem de poucas dezenas de metros. Fontes do tipo *boomers*, *sparkers* e *chirp* (de alta potência) estão entre as mais indicadas para se atingir estes objetivos.

Um excelente exemplo de aplicação deste tipo de fonte acústica está ilustrado no registro sísmico na Fig. 7, que foi obtido no lago Guaraciaba, Santo André (SP), onde se observa uma camada de sedimentos com cerca de 25m de espessura depositada sobre a topografia irregular do embasamento local, assim configurada como resultado de atividades pretéritas de extração de areia. Fontes desta natureza podem atingir profundidade de penetração de algumas dezenas de metros. A Fig. 8 mostra um registro sísmico ilustrando o poder de penetração de uma fonte acústica do tipo *boomer*.

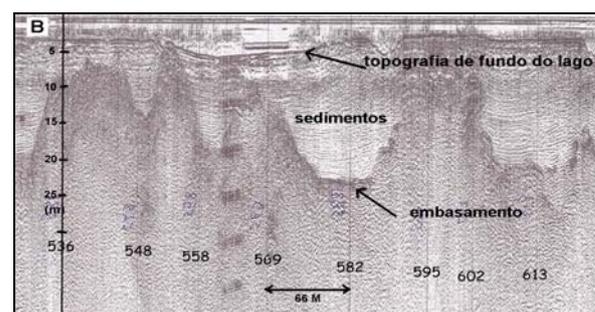


Fig. 7: Registro obtido por meio de perfilagem sísmica contínua com fonte acústica do tipo *boomer* no Lago Guaraciaba, Santo André (SP). Modificado de Souza (2006) e IPT (2003).

Conclusões

É comum em projetos de engenharia ou de geotecnia em áreas submersas rasas a necessidade de dados de toda ordem com referência aos materiais subjacentes. Nestes casos, a espessura da coluna sedimentar rasa (sedimentos finos), bem como a profundidade do

embasamento rochoso e o imageamento das feições estruturais aflorantes na superfície de fundo constituem conjunto de dados fundamentais. Em projetos desta natureza, a solução ideal se obtém com a utilização de sistemas com capacidade de operar, simultaneamente, várias fontes sísmicas, inclusive o sonar de varredura lateral.



Fig. 8: Registro sísmico obtido com fonte acústica do tipo boomer mostrando o poder de penetração desta fonte, que neste exemplo detecta o embasamento rochoso a profundidade superior a 50m. (IPT, 2010).

Embora não existam, por limitações físicas, fontes acústicas que emitam a partir de um único módulo, sinais acústicos de 500Hz a 30kHz, o que seria, teoricamente, o ideal, existem hoje no mercado internacional sistemas que permitem administrar a atuação simultânea de várias fontes acústicas, que ao fim, é a solução mais próxima da ideal, face às várias demandas envolvidas na investigação de áreas submersas rasas. Com sistemas com essa capacidade, é possível garantir simultaneamente, resolução e penetração.

Um exemplo de utilização simultânea de três fontes acústicas está ilustrado na Fig. 9 que mostra nitidamente o produto diferenciado sob ponto de vista da resolução e da penetração de cada uma das três fontes acústicas utilizadas (*pinger* 24kHz, *chirp* 2-8kHz e *boomer* 0,5-2kHz). A Fig. 10 ilustra outro exemplo de utilização simultânea de três fontes acústicas em levantamento geofísico no canal de São Sebastião, SP. Os dois exemplos ilustram claramente o desempenho diferenciado de cada uma das três fontes acústicas e a importância desta diferenciação no estudo de ambientes submersos rasos.

A análise dos registros obtidos pelas três fontes acústicas nos exemplos ilustrados na Fig. 9 e Fig. 10 permite concluir sobre importância da utilização de fontes de alta energia do tipo *boomers*, para se garantir a identificação do topo do embasamento rochoso, que nestes exemplos, não foi identificado pelas fontes acústicas que emitem frequências superiores a 2 kHz (*pinger* 24kHz e *chirp* 2-8kHz), nos trechos de maior espessura da coluna sedimentar.

Denota-se também, a partir das análises destes registros, a importância da utilização simultânea de diversas fontes acústicas, já que cada uma oferece soluções específicas para distintas questões.

A análise abordada neste artigo permite concluir que para um adequado desenvolvimento de estudos geológicos

e/ou geotécnicos em áreas submersas rasas é fundamental proceder primeiramente uma análise criteriosa dos objetivos do projeto. A melhor solução para o problema geológico-geotécnico será encontrada se estiver claramente estabelecido o objetivo do empreendimento, as profundidades a serem investigadas e qual o tipo de material a ser atravessado pelos sinais acústicos.

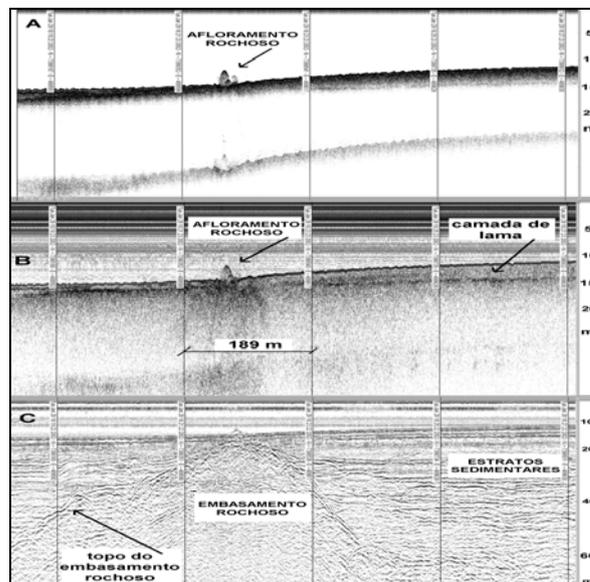


Fig. 9: Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas (A) *pinger* (24kHz); (B) *chirp* (2-8kHz) e (C) *boomer* (0,5-2kHz). Nos perfis A e B evidencia-se, na superfície de fundo, uma anomalia topográfica que somente no perfil C, pode ser correlacionada à existência de um corpo rochoso em subsuperfície e de grande extensão, permitindo seu dimensionamento (Souza, 2006).

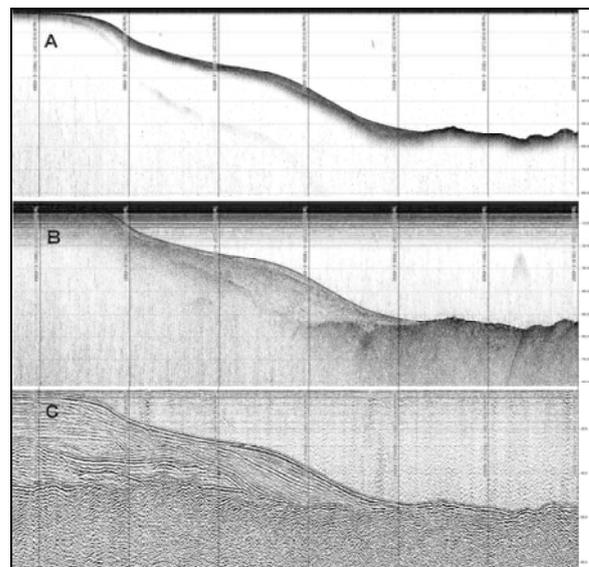


Fig. 10: Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas (A) *pinger* (24kHz); (B) *chirp* (2-8kHz) e (C) *boomer* (0,5-2kHz). Observa-se nitidamente o desempenho diferenciado das fontes, com relação à penetração do sinal nos estratos sedimentares subjacentes, já que apenas no perfil

obtido com o boomer, é possível delinear, com continuidade e extensão, o contorno do embasamento rochoso na área investigada (Souza *et al.* 2008).

As respostas a estas questões vão indicar se a prioridade do projeto é a investigação da superfície (1) ou da subsuperfície (2), e neste segundo caso, se a prioridade é resolução (3) ou a penetração (4) ou até mesmo se ambas as informações são importantes.

Com esta abordagem o empreendedor poderá emitir uma licitação para serviços de levantamentos geofísicos que basicamente irão prever, para o caso (1), levantamentos ecobatimétricos e/ou sonográficos que envolvem a utilização de ecobatímetros de uma ou duas frequências, sistemas multifeixes e/ou sonar de varredura lateral. Neste caso o objetivo do projeto será caracterizar a morfologia da superfície de fundo, por meio da identificação de feições como afloramentos rochosos, estruturas sedimentares, feições estruturais, como falhas e lineamentos ou, até mesmo, a localização de embarcações naufragadas, dando suporte a operações de busca ou salvamento ou arqueologia subaquática.

Para o caso (2), os levantamentos geofísicos a serem solicitados serão aqueles relacionados à perfilagem sísmica contínua. Neste contexto, se a prioridade for resolução (3), o projeto necessitará de dados referentes à espessura de finas camadas (métricas a decimétricas) de sedimentos finos inconsolidados (lamas ou no máximo areias finas) e os levantamentos deverão ser executados com métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas que emitem sinais de frequências entre 2 e 30kHz. *SBP* de 3,5kHz, 7kHz, 10kHz, 15kHz, *chirp* 2-8/2-10/4-12/4-16/9-21kHz, *pinger* 24kHz, são exemplos de fontes acústicas desenvolvidas para essas aplicações. Informações desta natureza estão comumente relacionadas a projetos de dragagem para manutenção em áreas portuárias, de hidrovias, de lagoas de decantação e a estudos de assoreamento de reservatórios (Carvalho, 2008), entre outros.

Se a prioridade é a penetração (4) dos estratos sedimentares arenosos, ou seja, se dados sobre a espessura da coluna sedimentar ou da profundidade do embasamento rochoso constituir informações fundamentais ao projeto, os levantamentos geofísicos a serem solicitados serão aqueles também relacionados à perfilagem sísmica contínua. Todavia, nestes casos, deverão ser empregadas fontes acústicas de alta potência e que emitem sinais com frequências abaixo de 2kHz. *Sparkers*, *boomers* e *chirps* de alta potência, estão entre as principais fontes acústicas utilizadas com estes objetivos, e que apresentam produto final análogos aos exemplos ilustrados nas Figs. 8, 9 e 10.

Finalmente, considerando-se que cada fonte acústica cumpre papel específico na investigação de áreas submersas, idealmente, melhores resultados sempre serão alcançados quando da utilização simultânea de um conjunto de fontes acústicas de forma a completar o espectro de frequências desejável, qual seja, entre 500Hz e 30kHz.

Um *pinger* de 15 ou 24kHz, um *chirp* (2-10kHz) e um *boomer* (500Hz-2kHz) ou um *sparker* (300Hz-1kHz), associados a um sonar de varredura lateral com frequência principal em torno de 100kHz, por exemplo,

constituem excelente conjunto de fontes acústicas que certamente responderão de forma satisfatória as principais questões geológicas/geotécnicas envolvidas no contexto desta discussão.

É importante ratificar o conceito básico discutido neste artigo que é uso simultâneo de distintas fontes acústicas. O uso de uma ou de outra fonte acústica isoladamente, pode, em algumas situações, não oferecer o resultado desejado. A Fig. 11 ilustra um excelente exemplo da importância do uso simultâneo das três fontes acústicas. Neste exemplo observa-se que a pequena coluna sedimentar depositada sobre o embasamento rochoso é mais bem identificada no perfil obtido pelo *chirp*, ao contrário dos exemplos ilustrados nas figuras 9 e 10, que mostram melhor desempenho, sob esse ponto de vista, da fonte acústica *boomer*. Tal fato decorre justamente da natural perda de resolução da fonte acústica *boomer* quando da ocorrência de embasamento acústico muito próximo da superfície de fundo.

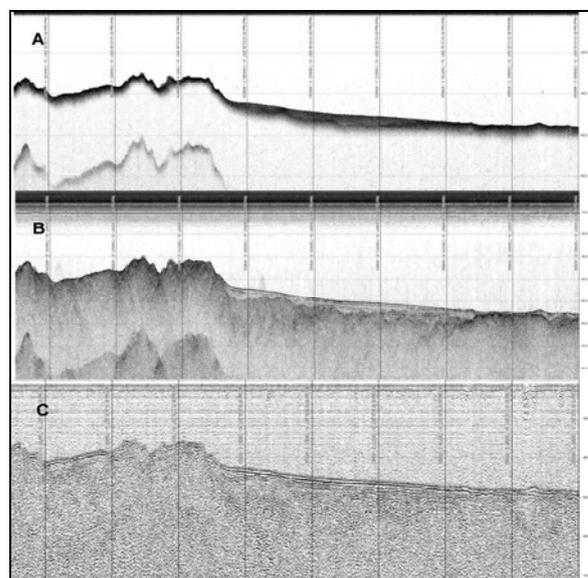


Fig. 11: Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas (A) *pinger* (24kHz); (B) *chirp* (2-8kHz) e (C) *boomer* (0,5-2kHz). Souza *et al.* 2008.

Referências

- Ayres Neto, A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Rev. Bras. Geof.*, 18:241-255.
- Bianco, R. 2004. Apoio à decisão em obras de implantação e ampliação da infraestrutura aquaviária. In: I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SP. Resumos Expandidos. CD-ROM
- Bianco, R; Souza LAP & Cunha AGN. 2003. Sísmica rasa e sonar de varredura lateral aplicados a projetos de dragagem e derrocagem submarina. 8º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro-RJ. CD-ROM.
- Blondel P. 2009. The handbook of sidescan sonar. Springer. 316p

- Carvalho, N. O. 2008. Hidrossedimentologia Prática.- 2a Edição – Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro, Interciência. 599p.
- Dias, G.T.M. & Silva, C.G. 2003. Levantamentos geofísicos na rota submarina planejada para o Metrô Rio Niterói. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 8. Rio de Janeiro, RJ, 14 a 18 de setembro. Anais. CD-ROM.
- Dias, G.T.M. 2000. Marine bioclats: calcareous algae. Rev. Bras. Geof., 18(3):307-318.
- Dias, G.T.M.; Gorini, M.A.; Gallea, C.G.; Espindola, C.R.S.; Mello, S.M.; Dellapiazza, H. & Castro, J.R.J.C. 1982. Bancos de arenito de praia (*beachrocks*) submersos na plataforma continental SE brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32. Salvador, BA, setembro de 1982. Anais, 4:1540-1546.
- Du Four, I. & Lanckera V.V. 2008. Changes of sedimentological patterns and morphological features due to the disposal of dredge spoil and the regeneration after cessation of the disposal activities. Marine Geology. Vol. 255, Issues 1-2, Pag. 15-29.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2003. Levantamento batimétrico no lago do parque Guaraciaba e caracterização geológico-geotécnica das encostas marginais – município de Santo André, SP. Relatório Técnico 66.080. 71p.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2010. Levantamento Geofísico (Sonar de Varredura Lateral e Perfilagem Sísmica Contínua) do Canal de Santos. 118066-205. 185p.
- Jones, E.J.W. 1999. Marine geophysics. Baffins Lane, Chichester, John Willey & Sons Ltd. Inc. 466p.
- Kayabali, K. 1996. Engineering geological aspects of replacing a solid waste disposal site with a sanitary landfill. Engineering Geology, Vol. 44, Issues 1-4, Pag. 203-212.
- Marrano, A.; Souza, L.A.P. & Magalhães, F.S. 2004. Sonar de varredura lateral aplicado à implantação de rotas de navegação. In: I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SP. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Rogacheski, C. E. 2011. A Dinâmica Sedimentar e a Caracterização de Zonas de Erosão Acentuada (ZEA) ao Longo do Arco Praial de Massaguaçu, SP. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 168p
- Souza L.A.P.; Gandolfo O.C.B.; Cordeiro RP & Tessler MG. 2006. A investigação geofísica em projetos de dutovias. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica, Natal-RN. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Souza, L.A.P. 1988. As técnicas geofísicas de Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Sonografia aplicada ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém, PA, 6 a 13 de novembro de 1988. Anais, 4: 1551-1564.
- Souza, L.A.P. 1998. Exemplos de utilização de métodos geofísicos na investigação de áreas submersas. In: Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente/Workshop de Geofísica Aplicada, 2. Rio Claro, SP, 19 a 20 de novembro de 1998. CD-ROM.
- Souza, L.A.P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.
- Souza, L.A.P. 2008. A investigação sísmica de áreas submersas rasas: Parte 1 – Fundamentos e Demandas. Boletim da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2. p.11-19.
- Souza, L.A.P.; Bianco, R; Tessler, MG & Gandolfo, O.C.B. 2007. Investigações geofísicas em áreas submersas rasas: qual o melhor método? In: 10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro-RJ. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Souza, L.A.P.; Marrano, A. & Iyomasa, W.S. 2004. Geofísica aplicada a estudos de lagos em áreas urbanas. I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SP. Resumos Expandidos. CD-ROM
- Souza, L.A.P.; R.F. Silva & W.S. Iyomasa. 1998. Métodos de Investigação. In: Oliveira, A.M.S. & Brito S.M.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. Cap. 11. Publicação IPT 2551.
- Souza, L.A.P; Miranda Filho, O.F & Mahiques, M.M. 2008. Perfilagem sísmica em águas rasas: qual a melhor fonte acústica? III Simpósio Brasileiro de Geofísica. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Tauber, F. 2009. Sidescan sonar survey of a dumping site in the Mecklenburg Bight (south-western Baltic Sea). Journal of Marine Systems, Vol. 75, Issues 3-4, Pag. 421-429.
- Torresan, M.E.; Hampton, M.A.; Gowen, M.H.; Barber, Jr. J.H.; Zink, L.L.; Chase, T.E.; Wong, F.L; Gann, J.T. & Dartnell, P. 1995. Acoustic Mapping of Dredged Material. Disposal Sites and Deposits in Mamala Bay, Honolulu. Hawai'i. U.S. Geological Survey - Open-file Report 95-017. Final Report.